

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2014.05.015

基于安全区段的站后双折返线折返能力分析

陈垚¹ 毛保华^{1,2} 李明高¹ 赵欣苗¹ 赵宇刚³

(1. 北京交通大学城市复杂系统理论与技术教育部重点实验室 北京 100044;

2. 中国综合交通研究中心 北京 100044; 3. 铁道部经济规划研究院 北京 100038)

摘要 针对站后双折返线,考虑接车进路的安全区段,分别对安全区段延伸到正线和道岔两种情况的折返过程进行分析,并建立折返出发间隔的解析计算公式。以天津江湾二支路站与DKZ4型列车作为算例,计算、分析不同情况下的车站折返能力。研究结果表明:在江湾二支路站,安全区段需要延伸到道岔,靠近出发正线的折返线能力比靠近进站正线的折返线大7列/h;在增设绝缘节后,使安全区段延伸到正线,两折返线能力分别增加2.48列/h和9.5列/h。

关键词 城市轨道交通;折返能力;双折返线;安全区段

中图分类号 U231+.92 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2014)05-0055-04

随着我国城市轨道交通的快速发展,城市轨道交通运营组织越来越受到重视。折返能力是确定城市轨道交通线路运输能力的基础,是城市轨道交通运营组织的关键。国内外学者对折返能力进行了大量研究,主要是从车站的线路与站台布置^[1-2]、计算方法^[3-5]、能力提高^[6-7]等方面对折返能力进行研究,但从接车进路安全区段的角度分析折返能力的研究较不充分。接车进路安全区段与列车折返过程有直接联系,笔者在既有研究基础上,分析接车进路安全区段对折返作业时间的影响,建立折返出发间隔的解析计算公式,并通过算例分析不同优化方案下折返能力的变化规律。

收稿日期: 2013-09-20 修回日期: 2013-11-25

作者简介: 陈垚,男,硕士研究生,从事城市轨道交通方向研究,13120828@bjtu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71131001);国家重点基础研究发展计划项目(2012CB725406)

1 折返能力分析

站后折返是指列车在前进方向的出发端利用站后尽端折返线或环线进行折返作业,站后双折返线折返站布置形式如图1所示。

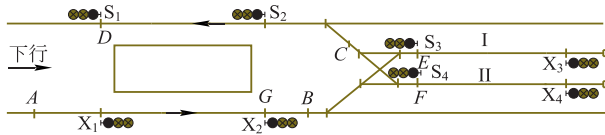


图1 站后双折返线折返站布置

图1中,A点为列车在X₁信号机未开放时需要制动的位。B点为道岔与正线的轨道电路分界点,C点为道岔与侧向直轨的轨道电路分界点,D点为车站出站信号机S₁位置点,E点、F点为道岔与折返线的轨道电路分界点,G点为X₂信号机位置点。靠近出发正线的折返线为折返线I,靠近进站正线的折返线为折返线II。

列车进站时,联锁系统为其办理接车进路,同时需要设置接车进路的安全区段^[8]。由于列车的期望停车点在站台端部,以供乘客上下车,因此联锁系统必须将接车进路的安全区段设置在X₂信号机内方。当X₂信号机内方的第1个轨道电路GB段大于安全防护距离时,安全区段设置到B点即可。当第1个轨道电路GB段长度不足安全防护距离时,安全区段需在信号机内方第2个轨道电路内结束,则利用折返线I折返时,联锁系统将安全区段设置到道岔后F点;利用折返线II折返时,联锁系统将安全区段设置到道岔后E点^[9]。因此,折返能力分析时分2种情况进行讨论,即安全区段延伸到正线和安全区段延伸到道岔。

1.1 安全区段延伸到正线

当安全区段延伸到正线时,列车利用折返线 I 和折返线 II 折返的作业过程相同。以折返线 I 为例,对站后双折返线的折返过程进行分析。折返作业具体可以分为 3 个子过程:接车作业、进出折返线作业、发车作业。

1.1.1 接车作业

列车的接车作业自前行列车出清轨道电路分界点 B 开始进站,至全部通过 B 点止,其过程如图 2 所示。

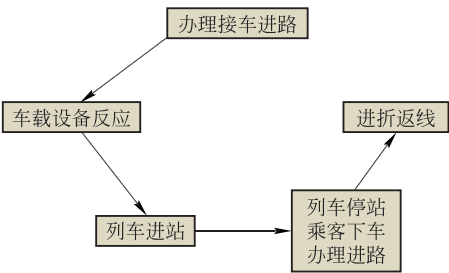


图 2 接车作业流程

则接车间隔时间为

$$t_{\text{接}} = t_{\text{作业}} + t_{\text{反应}} + t_{\text{进站}} + t_{\text{停站}} + t_{\text{出清B点}} \quad (1)$$

式中: $t_{\text{接}}$ 为接车间隔时间; $t_{\text{作业}}$ 为车站办理进路作业的时间; $t_{\text{反应}}$ 为车载设备反应时间; $t_{\text{进站}}$ 为列车从进站位置 A 运行至站台的时间; $t_{\text{停站}}$ 为列车在终点站的停站时间; $t_{\text{出清B点}}$ 为列车从站台运行至全部通过轨道电路分界点 B 的时间。

1.1.2 进出折返线作业

列车的进出折返线作业自前行列车出清轨道电路分界点 C 起开始进折返线,至全部通过 C 点止,其过程如图 3 所示。

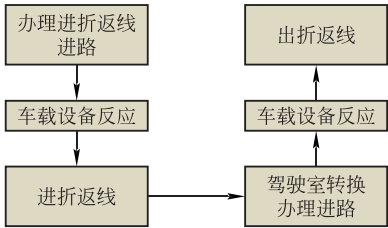


图 3 进出折返线作业流程

则折返间隔时间为

$$t_{\text{折}} = t_{\text{作业}} + t_{\text{反应}} + t_{\text{进折}} + \max(t_{\text{转换}}, t_{\text{作业}}) + t_{\text{反应}} + t_{\text{出清C点}} \quad (2)$$

式中: $t_{\text{折}}$ 为折返间隔时间; $t_{\text{作业}}$ 为车站办理进路作业的时间; $t_{\text{反应}}$ 为车载设备反应时间; $t_{\text{进折}}$ 为列车从站台运

行至折返线 I 的时间; $t_{\text{转换}}$ 为折返时列车进行驾驶室转换的时间; $t_{\text{出清C点}}$ 为列车从折返线 I 运行至全部通过轨道电路分界点 C 的时间。

1.1.3 发车作业

列车的发车作业自前行列车出清轨道电路分界点 D 起开始出折返线,至全部通过 D 点出站止,其过程如图 4 所示。

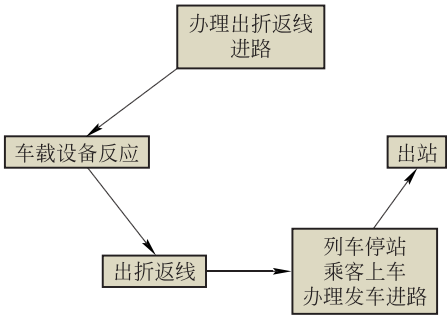


图 4 发车作业流程

则发车间隔时间为

$$t_{\text{发}} = t_{\text{作业}} + t_{\text{反应}} + t_{\text{出折}} + t_{\text{停站}} + t_{\text{出站}} \quad (3)$$

式中: $t_{\text{发}}$ 为发车间隔时间; $t_{\text{作业}}$ 为车站办理进路作业的时间; $t_{\text{反应}}$ 为车载设备反应时间; $t_{\text{出折}}$ 为列车从折返线 I 运行至站台的时间; $t_{\text{停站}}$ 为列车在终点站的停站时间; $t_{\text{出清D点}}$ 为列车从站台运行至全部通过轨道电路分界点 D 的时间。

1.2 安全区段延伸到道岔

当安全区段延伸到道岔(E/F 点)时,折返线 I 与折返线 II 的折返过程不同。

1.2.1 折返线 I

利用折返线 I 折返时,前行列车在出清 E 点时,BE 段解锁,开始办理后续列车的接车进路,设置 GF 段为安全区段。此时,前行列车的折返进路与后续列车的接车进路无交叉。只要出站正线空闲,前行列车即可折返。因此,当安全区段延伸到道岔时,折返线 I 的作业过程与安全区段延伸到正线相同,只是接车过程的轨道电路分界点由 B 点移至 E 点,接车间隔计算公式为

$$t_{\text{接}} = t_{\text{作业}} + t_{\text{反应}} + t_{\text{进站}} + t_{\text{停站}} + t_{\text{出清E点}} \quad (4)$$

式中: $t_{\text{出清E点}}$ 为列车从站台运行至全部通过轨道电路分界点 E 的时间。

在办理接车进路时,由于安全区段延伸至道岔,

设置安全区段时需要进行道岔转换,作业时间会增长。

1.2.2 折返线Ⅱ

利用折返线Ⅱ折返,在前行列车在出清F点时,开始办理后续列车的接车进路。类似地,接车间隔公式为

t_{接} = t_{作业} + t_{反应} + t_{进站} + t_{停站} + t_{出清F点} \tag{5}

式中:t_{出清F点}为列车从站台运行至全部通过轨道电路分界点F的时间。

办理后续列车接车进路时,将安全区段设为GE段,此时前行列车的折返进路与后续列车的接车进路存在交叉。只有在后续列车接车进路安全区段解锁后,才能办理前行列车的折返进路。因此,前行列车在进入折返线后必须等待后续列车进站停车、安全区段解锁后才能办理出折返线进路,在等待时间内可以进行驾驶室的转换。

列车的进出折返线过程:列车进入折返线Ⅱ,在出清F点时,办理后续列车的接车进路。列车在折返线停稳后,进行驾驶室的转换,同时等待后续列车的安全区段GF段解锁。在后续列车进站停车后,GF段解锁,开始办理列车的出折返线进路。在驾驶室转换及进路办理都完成后,列车出折返线,直到出清C点。因此,折返间隔可表示为

t_{折} = t_{作业} + t_{反应} + \max(t_{进折} + t_{转换}、t_{出清F点} + t_{作业} + t_{反应} + t_{进站} + t_{作业}) + t_{反应} + t_{出清C点} \tag{6}

站后折返的折返出发间隔由接车间隔、折返间隔和发车间隔的最大值决定,可以表示为

t_{站后折发} = \max\{t_{接}, t_{折}, t_{发}\} \tag{7}

式中:t_{站后折发}为站后折返的折返出发间隔时间。

站后折返能力可根据折返出发间隔通过下式进行计算

n_{折返} = 3\,600 / t_{站后折发} \tag{8}

式中:n_{折返}为站后折返的折返能力,列/h。

2 算例分析

2.1 折返能力计算

根据上述分析,选用DKZ4型列车与天津江湾二支路站作为研究算例,DKZ4型列车基本参数如表1所示,其牵引制动数据如表2所示。

站后折返站采用天津江湾二支路站,其简化布置如图5所示。

表1 DKZ4型列车参数

名称	编组	定员/人	长度/m	总质量/t	牵引电机数量/台
DKZ4	3动3拖 (Mc-T-M-T-T-Mc)	Mc:230 (60 kg/人) M、T:245	114	空载:177.2 满载:263.6	12(每动车4台)
构造速度/(km/h)	平均加速度/(m/s ²)	平均减速度/(m/s ²)	阻力系数a	阻力系数b	阻力系数c
80	0.83	0.94	1.247	0.001 455	0.000 254

表2 DKZ4型列车牵引制动数据

速度/(km/h)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
单机牵引力/kN	24.5	24	23.5	23	15	11.5	8.5	7	5.8
单机制动力/kN	22	22	22	22	22	22	21.5	18	15
牵引电流/A	100	100	100	100	100	100	100	100	100

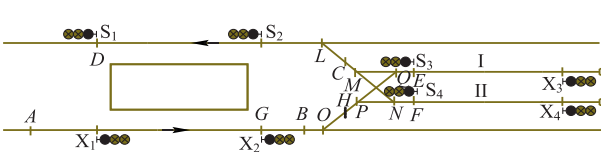


图5 江湾二支路站简化布置

江湾二支路站的站台宽度为14 m,站台长度为144 m,车站线间距为17 m。车站站后设双折返线用于车辆折返,采用的是9号道岔,两折返线间距为5 m,折返线距正线6 m。X₁、X₂、S₁、S₂信号机距站台端部5 m,轨道电路GB段长10.561 m。轨道电路分界点B、C点在道岔基本轨接头处,距道岔中心距离BO、MC长13.839 m。道岔区侧向段OP、LM长度为54.232 3 m,PQ、MN长度为45.314 2 m,道岔直向段MQ、PN长度为45.067 3 m。QE、NF段为道岔中心到道岔始端距离13.839 m。折返线有效长度为155.162 5 m。车站采用DKZ4型列车运行,正线运行速度取72 km/h,侧向过岔速度取30 km/h。此外,车站安全防护距离取40 m。

车站的技术作业时间设置^[10]如下:停站时间30 s,无道岔转换的进路办理时间取6 s,有道岔转换的进路办理时间取13 s,车载设备反应时间取3 s,驾驶室转换时间取12 s。

由于GB段长度13.839 m小于车站要求的安全防护距离40 m,安全区段需要延伸到道岔。基于车站技术作业时间,根据式(2)~(8),引入列车运行计算模型,利用Matlab计算列车在车站的运行时间,车站折返

能力计算结果如表 3 所示。

表 3 车站折返能力
计算结果

项目	折返线 I	折返线 II
接车间隔/s	113	113
折返间隔/s	103	145
发车间隔/s	105	105
折返出发间隔/s	113	145
折返能力/(列/h)	31.81	24.79

从表 3 中可以看出,折返线 I 的折返能力比折返线 II 大 7 列,折返线 I、II 的接车间隔与发车间隔相同。折返线 II 的折返间隔远大于折返线 I 的折返间隔,主要是由于驾驶室转换时间比较短,列车在折返线 II 上完成驾驶室转换后,还需要等待后续列车进站才开始办理出折返线进路;而在折返线 I 上折返时,驾驶室转换完后,即可出折返线。因此,折返线 I 的折返能力大于折返线 II 的折返能力。

2.2 折返能力优化方案

车站 GB 段长度小于安全防护距离,安全区段延伸到道岔,导致接车间隔较大。如果改变岔线结构,加大 GB 段长度,使其满足 ATP(列车自动防护系统)要求的安全保护距离(即 40 m),联锁系统不需要将道岔区段设为安全区段,列车出清 B 点后即可办理后续列车的接车进路。以折返线 I 为例,改变岔线结构前后的折返能力如表 4 所示。

表 4 折返线 I 的折返能力

项目	改变前	改变后	改变程度
接车间隔/s	113	94	- 19
折返间隔/s	103	107	4
发车间隔/s	105	109	4
折返出发间隔/s	113	109	- 4
折返能力/(列/h)	31.81	33.05	1.24

从表 4 可以看出,岔线结构改变后,折返线 I 的折返能力增加了 1.24 列/h。接车间隔减少了 19 s,接车间隔的减少主要是由于加大了 GB 段距离,出清 F 点时间 33 s 缩至出清 B 点时间 21 s,办理接车作业的时间也由 13 s 缩至 6 s。折返间隔与发车间隔都增加了 4 s,这是由于 GB 段长度加长导致进出折返线的走行距离增加了 29.439 m。安全区段延伸到正线后,折返线 II 的折返能力与折返线 I 相同。折返线 II 的折返能力由 24.79 列/h 增加为 33.05 列/h,增加了 8.26 列/h。

总的来说,安全区段延伸到道岔使折返线的折返能力受到一定限制。改变岔线结构后,两折返线能力

都得到了提升。值得注意的是,尽管增加 GB 段长度会提高折返能力,但 GB 段长度的增加会使车站整体长度变长,增加土建工程量,增加地铁工程造价。因此,在实际工程中需综合考虑折返能力需求和工程造价等因素。

优化轨道电路设计(如增设绝缘节等)同样可提高折返能力。若在 O、P 间设置绝缘节(如图 5 中 H 点所示),使 GH 段长度满足安全保护距离 40 m,相当于使安全区段延伸到正线,可以使后续列车进站时间提前,同时避免折返进路的交叉干扰。增设绝缘节之后的折返能力如表 5 所示。

表 5 增设绝缘节前后的折返能力

项目	折返线 I			折返线 II		
	改变前	改变后	改变程度	改变前	改变后	改变程度
接车间隔/s	113	94	- 19	113	94	- 19
折返间隔/s	103	103	0	145	103	- 42
发车间隔/s	105	105	0	105	105	0
折返出发间隔/s	113	105	- 8	145	105	- 40
折返能力/(列/h)	31.81	34.29	2.48	24.79	34.29	9.50

从表 5 可以看出,增设绝缘节后,折返线 I 与 II 的折返能力分别增加了 2.48 和 9.5 列/h。增设绝缘节可以避免增大车站规模、也不会加长列车走行距离,两折返线能力得到了更大提升。但该措施需考虑 OP 段长度是否够长,以使 GH 段满足安全保护距离。在站后双折返线车站,线间距一般较大,可以满足该条件。

3 结论

笔者针对站后双折返线,考虑接车进路的安全区段,分析了安全区段延伸到正线和道岔两种情况下的折返过程,得出了折返能力的计算公式,并以江湾二支路站为算例进行了分析。主要得到以下研究结论:

- 1) 在江湾二支路站,联锁系统需将安全区段设置到道岔,折返线 II 的折返能力比折返线 I 小 7 列/h。可知,站后双折返线折返站的接车进路安全区段延伸到道岔时,靠近出发正线的折返线能力要大于靠近进站正线的折返线能力。因此,在客流高峰时期,列车应该尽量采用靠近出发正线的折返线进行折返。
- 2) 通过改变江湾二支路站的岔线结构或增设绝缘节,使安全区段延伸到正线,车站折返能力得到了提高。其中,增设绝缘节效果更佳,使折返线 I 的折返能力增加了 2.48 列/h、折返线 II 增加了 9.5 列/h。可

知,站后双折返线折返站的接车进路安全区段延伸到道岔,使折返线的折返能力受到一定限制,可以通过增设绝缘节或改变车站的岔线结构,使安全区段延伸到正线的方式来提升车站折返能力。

此外,可以将结论推广至站后交叉渡线与站后单折返线。其中,当安全区段延伸至正线时,单折返线与双折返线的折返过程一样;当安全区段延伸至道岔时,单折返线折返能力应按站后双折返线中靠近进站正线的折返线处理。

参考文献

- [1] Powell S, Wong H Y. A deterministic approach to evaluating transport infrastructure at a terminus [J]. Transportation Research: Part A, 2000, 34(4): 287-302.
- [2] 惠伦.城市轨道交通站台形式设计方案研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(6): 167-173.
- [3] 张国宝,于涛.关于城轨列车折返能力计算与加强的研究[J]. 都市快轨交通, 2006, 19(4): 55-58.
- [4] 马琳,陈德旺.基于单车仿真和作图解析的城轨折返能力分析[J]. 系统仿真技术, 2011, 7(4): 288-293.
- [5] 张增勇,毛保华,蒋玉琨,等.基于牵引计算的城市轨道交通站后折返站能力计算方法[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(2): 450-455.
- [6] 赵凯.对提高天津地铁双林站折返能力的研究[J]. 都市快轨交通, 2007, 20(4): 68-70.
- [7] 张万强.浅谈北京地铁10号线万柳站折返能力[J]. 铁路通信信号工程技术, 2005(4): 31-33.
- [8] 李堂成.西门子准移动闭塞信号系统的安全区段概念[J]. 城市轨道交通研究, 2007, 10(5): 49-52.
- [9] 邓红元.站后折返模式的分析与比较[J]. 铁路通信信号设计, 2002(4): 8-12.

- [10] 邱奎.轨道交通线路折返能力与信号系统[J]. 电气化铁道, 2010(6): 40-43.

(编辑:曹雪明)

Capacity Analysis of Station-behind Double Turn-back Line with Overlap

Chen Yao¹ Mao Baohua^{1,2} Li Minggao¹

Zhao Xinmiao¹ Zhao Yugang³

- (1. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;
2. Integrated Transportation Research Centre of China, Beijing 100044;
3. Economic and Planning Research Institute of the Ministry of Railways 100038)

Abstract: This paper took an account of overlap of arriving routes, analyzed the turn-back process of station-behind double turn-back line and the calculation formula of turn-back departure interval was established. Taking Jiangwanerzhilu Station and DKZ4 trains as an example, accurate results of the turn-back capability calculated by train traction calculation were obtained. The results show that in Jiangwanerzhilu Station, the overlap need reach crossing and the capability of turn-back line which is close to departure main line is 7 more than the other line. Through setting insulation section, the overlap does not need reach crossing, then the capability of two turn-back lines increase by 2.45 and 9.5 respectively.

Key words: urban rail traffic; turn-back capability; double turn-back line; overlap

国产中低速磁悬浮列车在常州问世

我国中低速磁悬浮列车技术在常州实现新突破:西南交通大学牵引动力国家重点实验室与西南交大常州轨道交通研究院联手,自主研发出时速可达140 km的磁悬浮列车车架。

3年来,西南交大研发团队在常州联合多家企业,共同开展突破时速110 km中低速磁悬浮技术的研究,累计投入近1 000万元,建成国内首台适应时速500 km的车轨耦合振动试验台,获得30多项专利技术。最新的实验数据分析表明,该磁悬浮车架的适应最高速度已达每小时140 km。

国内目前在上海等地运行的磁悬浮列车,均采用日本

核心技术。常州这个磁悬浮车架完全具有自主知识产权,尤其是它的电机和悬挂架结构采用了全新的设计,在悬浮能力和自重比指标上有显著改进,1 m长的磁悬浮车架可载重2.3 t。在最大运行速度、最小曲线能力2个指标上,已超过目前日本保持的时速110 km的中低速磁悬浮列车最快纪录。

新一代磁悬浮能效接近地铁,而成本只是地铁的1/3,转弯半径小,没有噪声,节能。由于对地面振动影响较轻,中低速磁悬浮列车在城市轨道交通方面有着广阔的应用前景。2014年9月,该磁悬浮列车将赴上海进行整车试验。经过1年试运行,工程有望最先在山东济南等地开建。

摘编自 <http://wcm.cnautonews.com> 2014-08-21